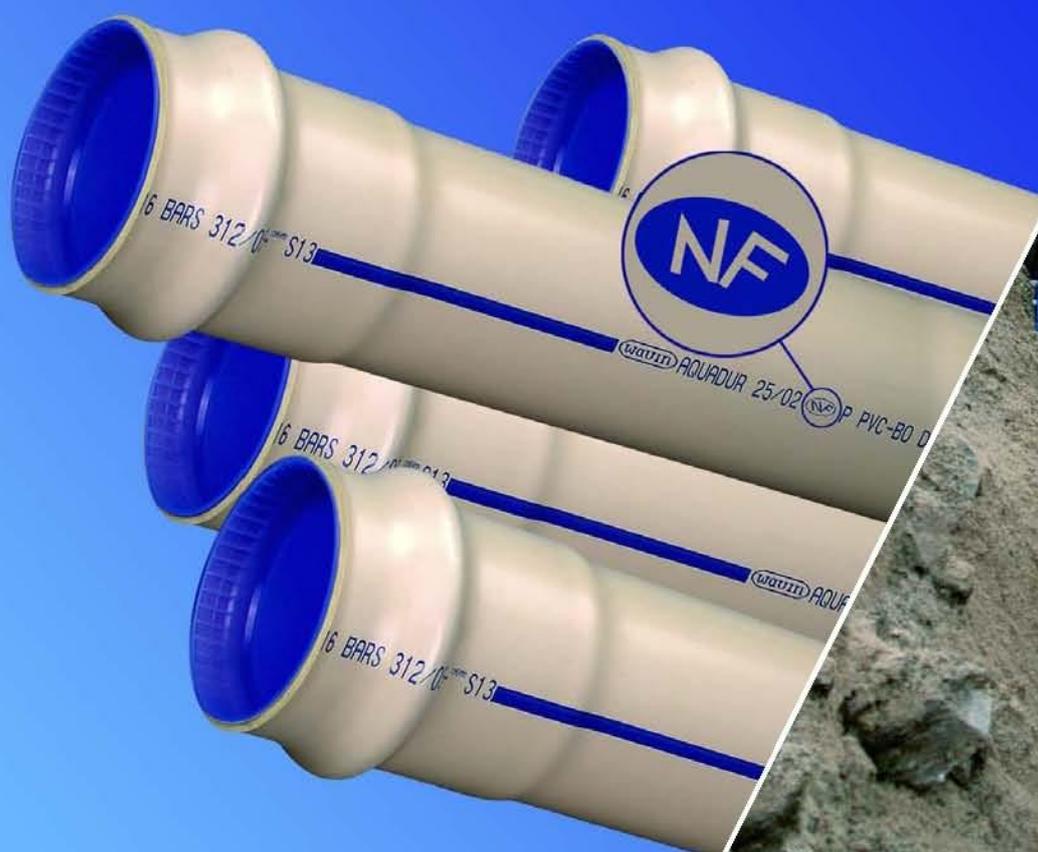
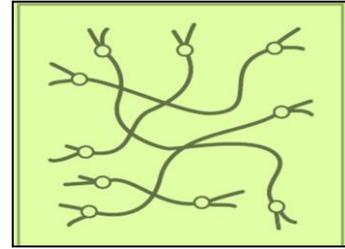
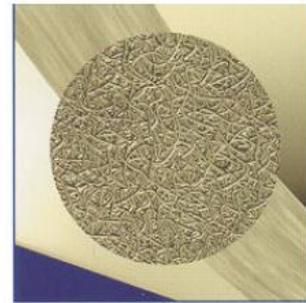
Sistemi di tubi in pressione PVC-O Aquadur/Apollo a molecole orientate bi-assiali

MANUALE TECNICO

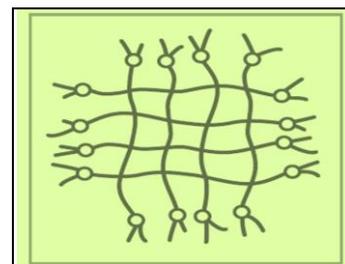
L'innovazione al servizio del trasporto dei fluidi

Un po' di Storia

Nel Regno Unito e in Irlanda, studiando i comportamenti dei tubi di PVC-U in esercizio, si era riscontrato che la causa degli ammaloramenti delle reti di PVC-U erano legate alla loro fragilità. Vari gruppi di studiosi, tenuto conto della elevata resistenza meccanica del PVC-U, tentarono di migliorare le sue caratteristiche negative: fragilità in presenza di sollecitazioni, poca resistenza all'urto specie a basse temperature, poca resistenza alle criccature e ai carichi puntuali. Seguendo due strade diverse, fu messo a punto un nuovo tipo di PVC con proprietà nettamente superiori. Mentre nel mondo Anglosassone e in Olanda si seguì sia la strada dell'aggiunta di modificatori d'impatto e di toughness che quella del bi-orientamento molecolare, in altri paesi (Francia, Spagna, Portogallo, Giappone) fu seguita la seconda via: la modifica della struttura molecolare per ottenere lo stesso risultato.
L'inserimento di modificatori della miscela (lega polimerica MPVC, PVC-A) consentì di creare una nuova generazione di tubi di PVC sempre duttili, resistenti all'urto, alla crescita della cricca, con una gamma produttiva che poteva spaziare dal DN 63mm al DN 800mm.

Contemporaneamente, siamo alla fine degli anni '70, altri studiosi, dopo aver valutata l'architettura dei plastici si spinsero fino a immaginare anche un possibile risparmio di materia prima, mantenendo però sempre elevate le caratteristiche meccaniche del prodotto finito. I tecnici si orientarono verso prodotti con elevata resistenza all'urto, allo scoppio e alla crescita delle criccature. Fu riconosciuto che uno dei difetti presentati dal vecchio PVC-U era insito nella trasformazione della struttura della materia prima che nel corso dell'estrusione passava dallo stato stabile, amorfo e disordinato delle catene molecolari, ad uno stato in cui le molecole per effetto dello stiramento assiale tendevano a passare a uno stato instabile di catene orientate assialmente.

Questo fatto rendeva il prodotto finale molto resistente ai carichi di trazione ma meno resistente allo scoppio, all'urto e alle criccature.

PVC – Stato stabile, amorfo e disordinato prima dell'estrusione

Orientamento assiale dopo l'estrusione: PVC-U

Bisognava trovare il modo di orientare una parte delle catene molecolari anche in senso perpendicolare all'asse, passare dai tubi ad orientamento mono-assiale delle molecole ad una struttura ad Orientamento Biassiale. Una spiegazione di tale diverso comportamento è collegato direttamente alla struttura molecolare interna al prodotto.

PVC-O: Orientamento Bi-assiale dopo stiramento tangenziale

Nel caso del vecchio PVC-U se si applica un carico nella stessa direzione dello stiramento (assiale) esso sarà sopportato dalle catene molecolari, se invece si applica una sollecitazione in direzione perpendicolare allo stiramento esso verrà sopportato dalle forze di attrazione fra le catene molecolari che sono molto più deboli di quelle richieste per stirare le molecole.

Considerato però che nei tubi, sottoposti a pressione interna, le pareti saranno sollecitate in prevalenza in direzione tangenziale (e che essa è pressoché doppia rispetto a quella assiale), ne derivava che la resistenza tangenziale era più importante di quella assiale. Gli studi per migliorare le caratteristiche del PVC-U si concentrarono quindi su quest'ultima.

Il comportamento dei plastici come è noto è sostanzialmente diverso da quello dei materiali metallici nei quali l'allungamento avviene allontanando gli atomi che sono tenuti insieme da forze interatomiche molto elevate rispetto alle forze intramolecolari relativamente deboli. Il prodotto che si ottiene con l'orientamento biassiale oltre ad elevare la resistenza alle tensioni tangenziali (pressione interna nel tubo) consente di programmare anche la tensione assiale al fine di sopperire alle sollecitazioni flettenti, con un incremento della stessa del 20-30%. Ma tutto questo non bastava per rivaleggiare con il PVC-A. Per chi già conosce quest'ultimo prodotto sa che esso presenta anche una toughness elevata per contrastare la crescita delle criccature che possono essere presenti o crearsi sul materiale nel corso dell'esercizio. Sappiamo poi che non sempre aumento di resistenza e resistenza a rottura fragile vanno di pari passo. La toughness, che misura la resistenza dei materiali a rottura fragile, è una proprietà intrinseca del materiale. Nel caso del PVC-A, del PVC-O e del PVC-A/HI il comportamento nei confronti delle criccature è diverso. Per il PVC-A e per il PVC-HI toughness e carichi di snervamento sono elevati e il meccanismo di avanzamento della cricca viene smorzato dalla presenza nel *compound* di molecole che consentono di controllare tale avanzamento.

Nel caso del PVC-O la distribuzione delle molecole all'interno dello spessore del tubo durante i due stiramenti, verticali fra loro, avviene per strati concentrici, per cui una qualsiasi sollecitazione nel passare da uno strato al successivo smorza la sua energia. In entrambi i casi viene assicurata una resistenza all'urto tale da coprire quasi tutti i danni che possono intervenire in cantiere o durante l'esercizio. In questo consiste la grande differenza dei tubi Wavin Aquadur di PVC-O nei confronti dei tubi di PVC-U tradizionali.

La produzione del tubo PVC Orientato fu sviluppata per la prima volta dallo Yorkshire Imperial Plastics (YIP) nel UK negli anni '70. Si osservò che, orientando ad elevate temperature la struttura molecolare del materiale estruso di PVC in due direzioni fra loro perpendicolari, si verificava un miglioramento marcato nelle sue proprietà fisiche, soprattutto per quanto riguardava la resistenza circonferenziale.

- **Anni '70 : processo iniziale per stadi (YIP-Uponor, Uralita, Alphacan, Pipelife)**
- **Anni '90: a causa dei limiti del processo iniziale Wavin e Uponor svilupparono un processo in linea.**
- **1998 - 2008: processo in linea Wavin in: Regno Unito, Francia, Olanda, Australia, Nuova Zelanda, Colombia, Brasile e Canada**
- **2004: anche negli USA viene introdotto il processo il processo in linea**
- **2005: Alphacan, Pipelife, Sotra si orientano verso il processo in linea**

Motivi: il processo "in-line" consente un miglior rendimento in termini di: qualità del tubo, sovrappeso, scarti, produttività, efficenza e flessibilità.

Materiali per Distribuzione di Gas e Acqua

Classificazione dei plastici per sistemi di tubi

Il settore dei plastici usati nelle reti di distribuzione di gas ed acqua è in continuo sviluppo. Negli ultimi anni si sono realizzati notevoli progressi attraverso un miglioramento dei processi di trasformazione delle materie prime, la creazione di nuovi tipi di materiali ad elevata resistenza e più alta costanza delle caratteristiche. A questi si aggiunge un aggiornamento nella standardizzazione Europea che già mostra i primi effetti per quanto riguarda sistemi di classificazione oggi in uso con conseguenti influenze durature sulla costruzione di tubi con materiali plastici (EN 1555, EN12201, EN1452, PAS27, PAS1075). Il punto di partenza del nuovo sistema di classificazione in accordo con la ISO 12162 e la EN 32162 è il comportamento a lungo termine del materiale in oggetto sotto pressione interna. Per tale scopo i valori che si ottengono con un campione specifico del tubo riempito con acqua a differenti temperature vengono valutati con il Metodo di Estrapolazione Standard in accordo con la ISO 9080.

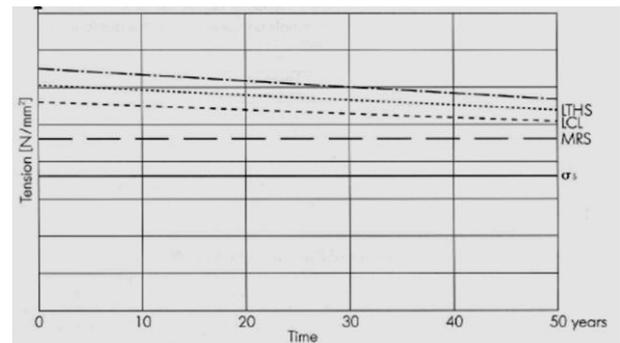
Procedura

Ai campioni vengono applicate diverse temperature, diverse pressioni interne (uguale sollecitazione circonferenziale sulla parete). Poi si registra la durata del carico fino a rottura. Ad ogni carico di rottura viene collegato il rispettivo tempo di rottura per quella temperatura di prova. Questo si riporta sul grafico carico-durata. I valori della sollecitazione circonferenziale a 20°C vengono poi estrapolati a 50 anni in accordo con la ISO 9080 e determinano

- il valore anticipato di LTHS a 50 anni (Long Term Hydrostatic Strength = resistenza idrostatica a lungo termine),
- il 97.5 % LCL (Lower Confidence Limit = Limite di Confidenza più Basso).

Questo valore di LCL viene classificato in accordo con la serie di Renard di numeri (R10 o R20 in accordo con ISO 3/1973 e ISO 497/1973). Il valore calcolato LCL viene ridotto al numero di Renard vicino più basso. Questo ci dà il richiesto MRS (Minimum Required Strength).

Il valore di MRS in MPa è la base per la classificazione. Il valore di MRS moltiplicato per 10 dà la "classificazione" del materiale. Per esempio i comuni tubi di PVC-U che presentano un MRS di 25MPa vengono catalogati nella classe 250 in accordo con il nuovo sistema.

Diversamente dai metodi di classificazione esistenti basati sulla sollecitazione dimensionale e al "coefficiente di sicurezza" (talvolta diversi per le varie nazioni) il nuovo sistema si riferisce a un parametro del materiale determinato in maniera uniforme. Questo elimina i precedenti equivoci causati da differenti punti di partenza.

Definizioni

- ***Rapporto Dimensionale Standard* (SDR)**

rapporto fra Diametro esterno del tubo (**D_e**) e spessore nominale di parete (**e**): $SDR = \frac{D_e}{e}$

- ***Lower Confidence Limit (LCL)***

È il *Limite di Confidenza Inferiore cioè* il valore di tensione tangenziale in MPa , caratteristico del materiale. Esso rappresenta il 97,5% del *limite inferiore di confidenza* per la pressione idrostatica a lungo termine a 20°C e per 50 anni.

- ***Minimum Required Stress (MRS)***

E' il Minimo Stress Richiesto, cioè il minimo valore del *limite inferiore di confidenza* arrotondato al valore più vicino alla serie di Renard R.10 (ISO 3:1973) quando LCL è inferiore a 10 MPa, oppure al valore più vicino alla serie dei valori Renard R.20 se LCL è > di 10MPa.

- ***Coefficiente operativo totale* (*C*)**

E' il coefficiente di servizio (ex *"safety factor"*), superiore all'unità, ricavato dalla serie Renard 10 che tiene conto non solo delle caratteristiche del prodotto e della sua produzione ma anche delle reali condizioni operative della condotta.

- ***Serie dei numeri di Renard R.10***.

E' la serie di numeri richiamati nelle ISO 3 e 497 i cui valori sono i seguenti: 1,0 – 1,25 – 1,60 – 2,00 – 2,50 – 3,20 – 4,00 – 5,00 – 6,30 – 8,00

➢ <u>*Sollecitazione di progetto* σ_s</u> *(tensione circonferenziale di progetto)*

è la tensione massima ammissibile, espressa in MPA, ottenuta per divisione di MRS per il coefficiente C e arrotondata al valore massimo più vicino alla serie di Renard R.10

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

Il <u>σ_s di progetto</u> (*tensione circonferenziale*) è il valore in base al quale si calcolano: dimensioni del tubo (**D_e , e**) e pressione (**MOP=** *massima pressione operativa*). Per valutarlo si fissa un **<u>coefficiente di sicurezza C.</u>**

All'interno della linea di armonizzazione degli standards Europei, sono state create delle linee guida per definire il <u>"coefficiente operativo totale minimo applicato"</u>. Per esempio per i materiali di PE e PVC usati nell'industria i valori minimi di C sono i seguenti:

Tipo di tubo	uso	MRS MPa	Classe	C	σs di progetto MPa
PE100	Acqua	10	100	1,25	8
PE100	Gas	10	100	2/3,25	5/3(IT)
PVC-U	Acqua	25	250	2	12,5
PVC-O	Acqua	31,5	315	1,6	20
PVC-O	Acqua	35,5	355	1,6	22
PVC-O	Acqua	40	400	1,6	25
PVC-O	Acqua	50	500	1,4	36

➢ Oggi la responsabilità per la scelta del fattore C ricade sul progettista che, dopo aver considerato tutte le condizioni più significative di esercizio e ambientali, può/deve applicare anche valori più elevati.

➢ **<u>Pressione nominale PN</u>:** per un materiale plastico rappresenta la massima pressione che può ancora sopportare dopo 50 anni di servizio a quella pressione e a 20°C. La pressione nominale PN per tubi in pressione in genere viene riportata in bar (1 bar = 10,2 metri di acqua ca. = 0,1 Mpa). Essa coincide con la PFA (*pressione di funzionamento ammissibile*) o alla MPO (*pressione operativa massima*) cioè alla massima pressione di esercizio che un tubo può sopportare in modo permanente per temperature fino a 25°C e per almeno 50 anni. Essa è data dalla:

$$P = \frac{2xMRS}{Cx(SDR-1)}\,[bar] = PN = MOP\,[bar]$$

Per temperature superiori, come vedremo, **PFA = MOP = PN x f_T** dove f_T è un coefficiente che tiene conto della sua riduzione per effetto della temperatura.

➢ **<u>Serie "S" dei tubi</u>:** è un numero per designare i tubi, come previsto dalle norme attuali, che si esprime in funzione del **σ_s** e della pressione nominale **P.** Più in generale, le serie fondamentali dei tubi vengono definite in funzione delle dimensioni del tubo <u>**D_e** (*diametro esterno del tubo*)</u> e di <u>**(e)** spessore di parete del tubo</u> tramite le seguenti relazioni:

$$S = \frac{\sigma_s}{P} = \frac{D_e - e}{2e}$$

➢ **Rapporto Dimensionale Standard "SDR"**

(Standard Dimensional Rapport): questo numero è stato introdotto per definire le classi dei tubi ed è rappresentato dal rapporto fra il diametro esterno del tubo e il suo spessore di parete: **SDR = D_e / e.** Il legame tra S e SDR è il seguente:

$$S = \frac{SDR-1}{2} = \frac{\sigma_s}{P}$$

SDR = 2 x [S] + 1

➢ **<u>Rapporto "SDR" e Serie "S" dei tubi:</u>**

Nelle norme attinenti ai tubi plastici destinati alla distribuzione, le dimensioni specifiche del tubo sono basate sul <u>diametro esterno del tubo</u> **D_e** e lo <u>spessore di parete</u> **[e]** in accordo con le rispettive <u>**serie** S</u> di tubi. Allo stesso tempo ciascuna serie di tubi viene definita geometricamente dal codice **<u>SDR (Rapporto Standard Dimensionale)</u>** cioè da:

$S = \frac{\sigma_s}{P}$; SDR = D_e / e

o anche:

SDR = 2x[S] + 1 ; $S = \frac{SDR-1}{2} = \frac{\sigma_s}{P}$

La relazione fra il codice geometrico SDR e la max. pressione interna ammessa nei tubi, importante per l'utilizzatore, viene espressa con le seguenti relazioni:

$$\sigma_s = Px\frac{diametro\ esterno - spessore\ parete}{2\ x\ spessore\ parete}$$

$$\sigma_s = \frac{P}{2e}x(D_e - e); \quad SDR = 2\,x\,\frac{\sigma_s}{P} + 1;$$

$$SDR = \left(\frac{2}{P}\,x\,\frac{MRS}{C}\right) + 1$$

Cloruro di polivinile

Il Polivinilcloruro, più noto col nome abbreviato PVC, è il plastico più comune poiché viene usato in molti settori della industria così come nella vita quotidiana. Contrariamente alla credenza popolare, esso appartiene al gruppo dei termoplastici, è facilmente cementabile, fusibile, forgiabile ripetutamente e riciclabile.

Il nome di PVC deriva dalla polimerizzazione del vinilcloruro, un monomero gassoso. Molti tubi, raccordi e valvole per condotte interrate per sistemi di acqua potabile sono prodotti, con PVC-U (PVC non plastificato) senza emollienti e senza riempitivi. Nel trasporto di acqua è molto usato anche il PVC-A, lega polimerica a base di PVC-U/resine acrliche e/o cloruro di PE. Per grossi diametri è stato introdotto anche il PVC-HI. Nell'industria si usa, oltre al PVC-U, il PVC-C (PVC clorurato), che si distingue per la sua alta resistenza alla T. Viene cementato solo a solvente. Per consentire estrusione, iniezione e calandratura, vengono aggiunti al PVC-U degli additivi, come lubrificanti e stabilizzanti; se il prodotto deve essere colorato vanno aggiunti anche idonei pigmenti. La quantità totale degli additivi è inferiore al 5%. Raccordi e valvole di PVC-U sono grigio scuro RAL 7011.

Additivi

Stabilizzanti metallici sono usati a protezione della decomposizione termica durante la trasformazione e contro gli effetti delle radiazioni UV. Wavin per produrre raccordi e valvole ha usato stabilizzanti a base Sn, per cui i prodotti potevano essere usati in tutto il mondo nell'industria alimentare, per esempio per trasportare acqua potabile. Dal 2006 in avanti Wavin ha sostituito lo Sn con stabilizzanti di origine organica per migliorare ulteriormente gli effetti ambientali.

Resistenza chimica

PVC-U è resistente contro molti acidi e alcali. Quindi viene usato anche per lo stoccaggio e il trasporto di mezzi aggressivi. Per tale motivo il PVC-U viene preferito nella costruzione di tubi desinati a:

- Adduzione di acqua potabile
- Distribuzione di acqua potabile
- Condotte fognarie
- Condotte irrigue
- Costruzione di impianti
- Sistemi di tubi per l'industria

I sistemi plastici sono ideali nel trasporto di una vasta quantità di prodotti chimici e sono largamente usati nell'industria dove il convogliamento di liquidi e gas molto corrosivi richiedono prodotti con elevate resistenze alla corrosione.

I sistemi di tubi di PVC presentano notevole resistenza nei confronti di un'ampia gamma di reagenti a temperature fino a 50°C. In genere il PVC è idoneo a trasportare acidi molto forti, alcali e soluzioni acquose (eccetto quelle che risultano altamente ossidanti), idrocarburi alifatici, fluoruri, soluzioni fotografiche e soluzioni di coloranti, salamoie, oli minerali, grassi e alcooli. L'idoneità delle condotte di PVC al trasporto di un prodotto chimico dipenderà da fattori come: concentrazione del particolare prodotto chimico nel fluido che deve essere convogliato, velocità di flusso, presenza di buchi o punti morti nella condotta e altri fattori.

Il PVC non dovrebbe essere usato con aldeidi e chetoni, eteri, eteri ciclici, esteri aromatici, composti azotati e idrocarburi clorurati, alcune miscele di petroli/benzene, e solventi simili che inducono un marcato rigonfiamento e rammollimento del materiale. Vanno considerati anche gli effetti del fluido sull'anello di gomma.

A meno di altre precisazioni, dovrebbero essere forniti anelli di gomma naturale. Sono anche disponibili anelli di composti neoprenici e stirolo-butadienici. Le guarnizioni di gomma naturale in genere resistono a molti chemicals inorganici, inclusi gli acidi, alcali includenti sali, insieme con acidi organici, alcooli, chetoni e aldeidi. Essi inoltre possono essere attaccati dall'ozono, acidi forti, oli, grassi e molti idrocarburi.

Laddove non si conoscono le condizioni del terreno o se è noto che sono dannose, sono necessarie analisi del suolo per determinare ogni qualsivoglia contaminante o chiedere informazioni al produttore.

Tubi Wavin di PVC-O Aquadur ad orientamento bi-assiale

Il tubo in pressione Aquadur è il risultato di molti anni di ricerche Wavin rivolte a sviluppare un tubo di PVC con molecole interamente Bi-Orientate conservando tutte le proprietà meccaniche positive già note e testate del PVC-U.

Aquadur non offre solo un materiale per condotte con elevata resistenza e toughness, superiori al PVC-U e al PEAD, ma anche una duttilità decisamente migliorata e quindi ottime prestazioni del tubo.

Aquadur è stato sviluppato in primo luogo per i sistemi di trasporto di acqua potabile in pressione, fornisce un tubo più tenace e più leggero.

Gamma

Aquadur , prodotto in Francia, è disponibile nelle classi 16 e 25 bar e per DN da 110 a 400mm.

Apollo, prodotto in Olanda, è disponibile per pressioni di esercizio da 10 bar e 12,5 bar e per DN da 110mm fa 315mm.

I tubi sono colorati in blu/crema in funzione del paese d'origine. Nel caso di trasporto di acque reflue/non potabili si usa il colore nero.

I tubi Apollo/Aquadur sono prodotti o a testata liscia o con bicchieri integrati. La loro lunghezza effettiva è 6 metri. Su richiesta è possibile produrre tubi di lunghezza diversa.

Una vasta gamma di pezzi speciali in PVC-U o GS sono disponibili a corredo dei tubi Apollo/Aquadur.

Settori d'impiego

Apollo/Aquadur si può usare:

- nei sistemi di distribuzione di acqua potabile
- trasporto di acque non potabili (acque grigie),
- per impianti irrigui e per annaffiamento
- condotte fognarie in pressione
- condotte per processi industriali
- condotte per fanghi e melme.

Caratteristiche e vantaggi

Alta resistenza allo scoppio

L'aumentata resistenza del materiale consente di ridurre lo spessore di parete del tubo e quindi di ridurre il peso dello stesso per metro

Alta resistenza all'urto

Essa fornisce miglior protezione nei confronti di danni provocati durante lo stoccaggio, la movimentazione e la posa rispetto ai convenzionale tubi di PVC-U.

Le proprietà fisiche e meccaniche conferite dalla bi-orientazione aumentano in maniera sensibile la resistenza agli urti e la solidità dei tubi Apollo/Aquadur. Essi resistono a fortissime energie d'impatto di 300 joules, cioè all'equivalente di un peso di 15 Kg che cade da un'altezza di 2 m a temperatura del test = 20°C (Norma NF EN 744). Apollo/Aquadur è dieci volte più resistente di un tubo di PVC-U tradizionale.

Resistenza a bassa temperatura

L'aumentata toughness consente di installare I tubi a base temperature fino a -20°C.

Resistenza a carichi puntuali

La struttura stratificata dello spessore della parete del tubo Apollo/Aquadur riduce le possibilità di rotture premature allorchè i tubi vengano sottoposti a carichi puntuali.

Resistenza a corrosione e ad aggressioni chimiche

La stessa natura del PVC conferisce ai tubi Apollo/Aquadur un'ottima resistenza allorchè ci si trovi di fronte a terreni circostanti o ai liquidi trasportati aggressivi.

Peso leggero

Poiché nella produzione dei tubi Apollo/Aquadur si usa meno materia prima non solo essi sono più leggeri dei corrispondenti tubi di PVC-U ma sono anche sette volte più leggeri dei tubi di Ghisa Sferoidale. Essi risultano quindi decisamente vincenti per la facilità di eseguire le operazioni di movimentazione e di posa senza ricorrere a macchine di sollevamento: la velocità di posa è più elevata, più sicura e a costo inferiore.

Migliorata prestazione come capacità di flusso

Lo spessore ridotto della parete del tubo Apollo/Aquadur si traduce in un più grande diametro interno, comparato con l'equivalente tubo di PVC-U e una capacità di flusso incrementata di oltre il 5%.

Tenuta perfetta con Giunto integrale

Giunzioni altamente affidabili per la tenuta. Il normale procedimento di bicchieratura in linea con anello di guarnizione "inserito in fabbrica" elimina i rischi del posizionamento dell'anello durante la giunzione in cantiere. Inoltre i tappi montati sulle due estremità dei tubi evitano che essi siano contaminati durante la fase di stoccaggio e di messa in opera.

Eccellenti caratteristiche idrauliche

La superficie interna liscia e non corrodibile mantiene intatte le eccellenti proprietà di flusso. Non subisce incrostazioni.

Migliorate proprietà contro il colpo d'ariete e I carichi ciclici (sollecitazioni a fatica)

I tubi Aquadur resistono a una pressione nominale di 16 bar a 20°C, come previsto dalle norme XP T54-948. In un tubo PVC bi-orientato 16 bar l'intensità di un colpo d'ariete va divisa per 3 rispetto ai materiali tradizionali a pari celerità.

Compatibilità

I tubi Aquadur PVC-O sono compatibili con la maggior parte dei raccordi esistenti sul mercato e testati da laboratori Wavin. I diametri esterni sono gli stessi degli altri tubi plastici (PVC-U, PVC-A, PE).

Rispetto di tutte le norme in essere

Norme pubblicate sui tubi di PVC-U Orientati Bi-assialmente sono:

- Norma British WIS 4-31-08 (1991)
- Specifica dell'industria dell'acqua Olandese BRLK 565/01 (1998)
- ISO Standard ISO 16422
- ASTM F1483
- Draft AZ/NZS 4441

Assolutamente superiore!

Il tubo Apollo/Aquadur viene prodotto da Wavin tramite un unico processo in linea brevettato. Apollo è il primo tubo ad essere stato prodotto con successo con procedimento continuo di orientazione sia in direzione tangenziale che assiale.

Il processo di orientazione è basato sul concetto di stiramento delle molecole per produrre un'autentica struttura di parete del tubo stratificata (lamellare) che consente di incrementare in modo significativo la resistenza meccanica e la toughness del materiale.

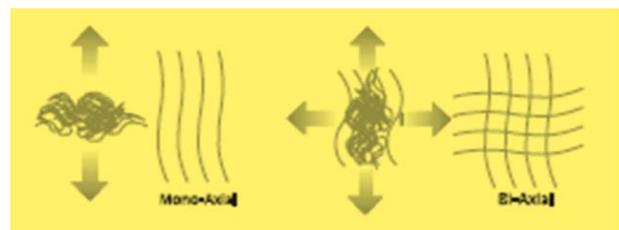



Fig. 1 - Orientazione Mono-assiale e Bi-assiale

L'aumentata resistenza di Apollo e Aquadur come diretta conseguenza dell'orientamento biassiale delle molecole è che esso può sopportare carichi più elevati.

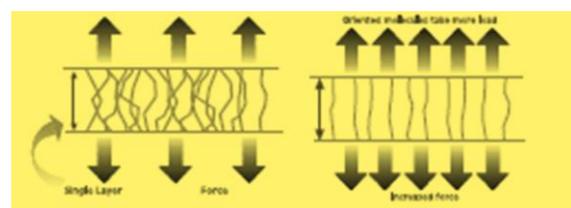



Fig. 2 - Aumentata resistenza di Apollo/Aquadur

Particolari sul prodotto

Aquadur è stato progettato come sistema tubo in pressione di 16 bar operante con fattore sicurezza 1.6. Poiché siamo in presenza di un tubo a parete assottigliata, la rigidità del tubo diventa un importante fattore di progettazione.

I tubi plastici in generale devono avere una rigidità minima di 4KPa. Tale rigidità viene calcolata usando la seguente formula:

$$S = \frac{E\ x\ t^3}{12\ x\ D^3}$$

S = rigidità t = spessore parete
E = modulo elastico D = diametro medio

Quindi per raggiungere una rigidità pari a 4kPa si richiede uno spessore di parete equivalente a un SDR41.

Specifiche del prodotto		
Diametro mm	Spessore parete mm	SDR
110	2,7	37
160	3,9	41
200	4,9	41
250	6,1	41
315	7,7	41
400	9,8	41

Fig. 3. Specifiche prodotto

Bicchiere Apollo

I bicchieri di Aquadur sono prodotti in linea con un processo che sostiene il bicchiere internamente, conservando nello stesso l'orientazione sia assiale che tangenziale. Questo metodo assicura un'idonea constanza di spessore del bicchiere ed elimina il rischio di spostamento dell'anello durante la giunzione dei tubi. Il processo Aquadur permette un ottimo bilanciamento fra stiramento tangenziale e assiale per mantenere gli spessori di parete da un capo all'altro del tubo.

Apollo/Aquadur PVC-O Bi-assiale: Norme e Regolamenti

I prodotti Wavin soddisfano i requisiti delle principali norme internazionali e nazionali e i regolamenti per quanto riguarda dimensioni, identificazione, materiali e caratteristiche fisiche. Le principali norme possono essere divise in tre gruppi come riportato di seguito.

Comitati Normativi

ISO International Organisation for Standardisation. Organisation Internationale de Normalisation

EN Europäisches Komitee für Normung. Comité Européen de Normalisation. European Committee for Standardisation

SN, DS, National Committees for Norms

UNI, DIN, BS, NF, O Norm, DVGW etc.

Norme Europee di Prodotto

L'armonizzazione degli standard europei è una delle conquiste chiave del mercato comune europeo. I regolamenti tecnici e le norme nazionali non possono più a lungo consentire restrizioni al libero scambio delle merci e dei servizi.

Nei comitati CEN (Comité Européen de Normalisation), associazioni/organizzazioni nazionali di utilizzatori e produttori devono procedere insieme per creare norme uniformi europee.

Queste Norme CEN diventeranno obbligatorie per tutti i membri della Comunità Europea ma anche per gli Stati EFTA che voteranno a favore. Essi non possono più essere sovraregolati da una norma nazionale.

BVQi

Certification

Awarded to

Wavin Overseas

Rollepaal 19, 7701 BR, DEDEMSVAART, The Netherlands

BVQI certify that the Management System of the above organisation has been audited and found to be in accordance with the requirements of the management system standards detailed below

STANDARD

ISO 9001:2000

SCOPE OF SUPPLY

Trading and distribution of plastic pipe systems, trading of machinery and equipment for the production of plastic pipe systems and licensing of technology

28 March 2002

3 May 2008

NLDGNG005276 14 June 2005

MGMT. SYS. RvA C 248

Tutte le norme europee hanno una struttura uniforme. Esse consistono di sette parti con la seguente struttura:

Parte 1: Generalità

Parte 2: Tubi

Parte 3: Raccordi

Parte 4: Valvole

Parte 5: Idoneità allo scopo

Parte 6: Regola raccomandata per la posa

Parte 7: Valutazione di Conformità.

I prodotti plastici, usati per condotte interrate di distribuzione di gas e acqua sono inoltre soggetti alle seguenti norme:

EN 1452: PVC per distribuzione di acqua

EN 12201: PE per distribuzione di acqua

EN 1555: PE per distribuzione di gas

ISO 16422/06 tubi e giunti di PVC-U a molecole orientate

La gamma di prodotti Wavin è progettata in maniera tale da essere conforme a questi standard. Il nostro impegno nei confronti della qualità e la consapevolezza che le norme comprendono i requisiti minimi, hanno portato come risultato per quanto riguarda Wavin che le norme di controllo interno di qualità che esse siano più o meno superiori al "Livello di Norma".

Elenco delle principali norme per sistemi di tubi pressione PVC-U

ISO 2045 - Minimum insertion depth for push-fit sockets

ISO 2536 - Dimensioni flange

ISO 3460 - PVC adapter for backing flange

ISO 3603 - Test di perdita sotto pressione interna

ISO/DIN 4422 - Tubi e raccordi di PVC per forniture di acqua

EN 1452 - Condotte in plastica per forniture di acqua (PVC-U)

EN 1456 - Buried pressure drainage and sewage pressure lines (PVC-U)

EN 1295-1 - Structural design of burried pipelines under various conditions of loading

DIN 2501 Part 1 - Flange, connection dimensions

DIN 3441 Part 1 - PVC valves; requirements and testing

DIN 3543 - PVC tapping valves, dimensions

DIN 4279 Part 7 - Internal pressure test of PVC pressure pipelines for water

DIN 8061 Part 1 - PVC pipes; general quality requirements

DIN 8062 - PVC pipes; dimensions

DIN 8063 Part 4 - Pipe joints and piping components for PVC pressure pipelines; adapters, flanges, seals, dimensions

DIN 8063 Part 5 - Pipe joints and piping components for PVC pressure pipes; general quality requirements, tests

DIN 16450-Fittings for PVC pressure pipes; designations, symbols

DIN 16929 - Chemical resistance of PVC

DIN 19532 - PVC pipelines for drinking water supply

KRV A 1.1.2 - Push-fit joints on PVC pressure pipes and fittings, dimensions, requirements, test

KIWA BRL K 603 - Plastic gate valves of nominal sizes from 25 mm through 150 mm

KIWA Quality Specification No. 53 - Couplings and fittings of unplasticized polyvinylchlorid for water pipes

KIWA Criteria Nr. 23 - Injection moulded PVC-fittings with flange connections

KIWA BRLK 2013 - Rubber rings and flange gaskets for potable and foul water pipe connections

EN 681 - Seals (water)

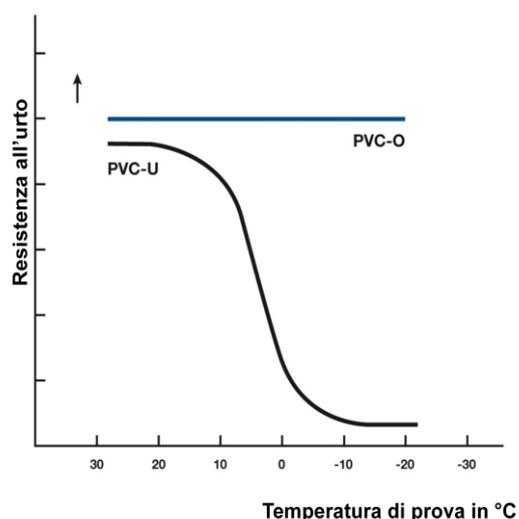
WIS 4-31-07 - Specification for unplasticized PVC pressure fittings and assemblies for cold potable water (underground use)

Lo stiramento

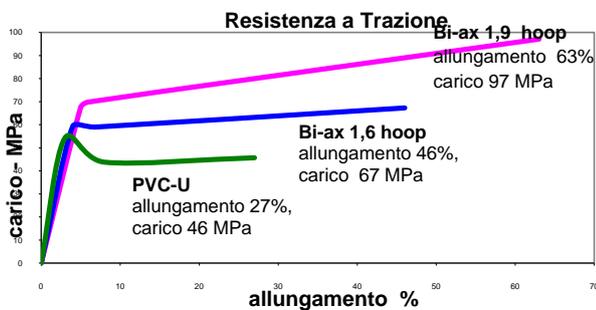
La tecnica dello stiramento molecolare prese avvio negli anni ’70, agli albori del PVC-U, quando Uponor, Uralita, Alphacan, Pipelife tentarono la via dell’orientamento molecolare in più direzioni per produrre piccoli diametri. Si iniziò con un procedimento a due stadi (processo discontinuo).
Prima si producevano tubi con diametro pari a circa la metà di quello finale voluto e con spessori almeno doppi rispetto a quest’ultimo. Il prodotto così estruso veniva raffreddato e successivamente posto in uno stampo chiuso alle due estremità, dove la temperatura veniva portata fino ai valori prefissati, quindi si applicava all’interno una pressione via via crescente fino ad espandere il diametro esterno del tubo pre-formato contro la parete dello stampo. Seguiva un rapido raffreddamento “froze in” che bloccava questa orientazione e con essa incrementava le proprietà meccaniche. Come risultato finale i tubi potevano essere usati a pressioni di esercizio più elevate o, in alternativa, alle stesse pressioni i tubi potevano essere usati con pareti più sottili, consentendo economia di costo e materiale. Durante questo processo le macromolecole del PVC-U venivano stirate e orientate prevalentemente in senso tangenziale, cioè nella direzione maggiormente sollecitata nel caso dei tubi in pressione. I punti deboli di tale processo erano: la bassa produttività, costi più elevati, la necessità di un numero di stampi molto alta (uno per ogni diametro e per ogni classe di pressione), l’orientazione in senso prevalentemente circonferenziale.
Negli anni ’90, considerato che il processo a due stadi presentava alcuni limiti, Wavin e Uponor svilupparono un processo in linea. Dal 1998 ad oggi Wavin ha avviato il processo in linea in UK, Francia, NL, Australia, Nuova Zelanda, Colombia, Brasile e Canada. Nel 2004 anche negli USA è stato introdotto tale processo. Agli USA seguirono altri produttori in varie parti del mondo. I motivi che hanno spinto le grandi società verso questo processo “in-line” è stato il miglior rendimento in termini di: qualità del tubo, sovrappeso, scarti, produttività, efficenza e flessibilità. Con il processo in linea (sistema Wavin/Apollo – fig 5), dopo l’estrusione del tubo pre-formato con diametro minore rispetto a quello desiderato ma con elevato spessore, esso viene tirato con una barra di traino sopra un mandrino di diametro maggiore. Contemporaneamente la velocità di traino viene aumentata. In questo modo nella vasca di condizionamento (temperatura, pressione e velocità di traino) si verifica sia l’espansione del diametro del tubo fino al valore desiderato e uno stiramento assiale delle molecole. Con questo sistema si viene ad incrementare fino al valore desiderato la orientazione tangenziale delle molecole ma, diversamente dal processo a due stadi, si può incrementare di un 30% anche lo stiramento assiale.

Proprietà

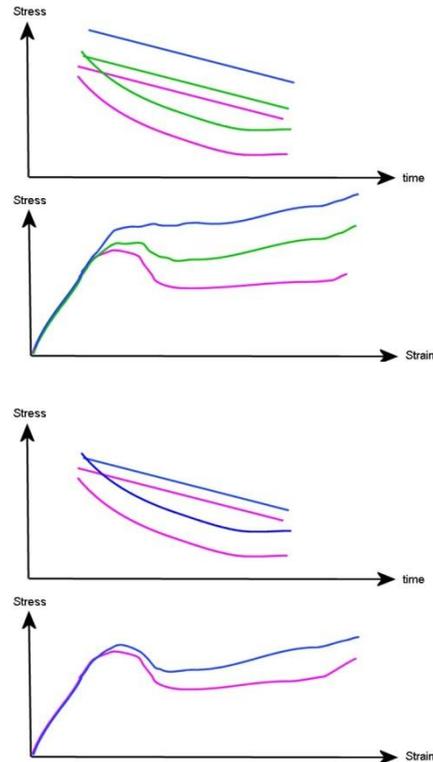
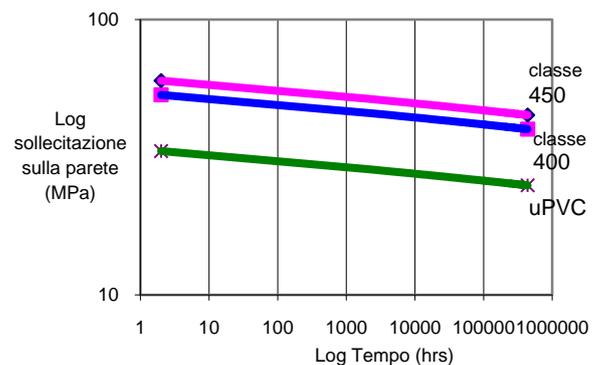
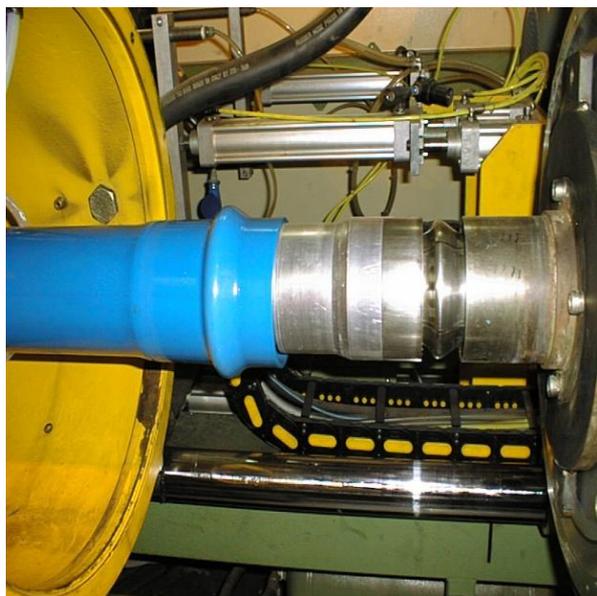
Resistenza all’urto

Nel caso di tubi di PVC-U man mano che ci si avvicina alle basse temperature (<10-15°C) il tubo diventa molto sensibile anche a piccoli urti o sollecitazioni concentrate che nel tempo diventano causa di rotture improvvise.
Il PVC-O, anche in presenza di temperature da 0 a 20°C, mantiene il tubo duttile (toughness molto elevata) e sopporta il gelo senza rotture traumatiche. I requisiti di un test tipico all’urto secondo la WIS 4-31-08 sono la resistenza all’impatto di un percussore da 2 Kg che cade da 2 m di altezza su un campione condizionato a 0°C. **Aquadur è stato testato con pieno successo con un percussore da 12,5Kg da un’altezza di 3 metri.**

Resistenza a trazione

Provare a trazione un materiale plastico significa applicare un carico crescente alla sezione del tubo fin quando il materiale snerva ed eventualmente si rompe. Poiché Aquadur è un materiale Bi-Orientato si può testare a trazione in entrambe le direzioni: tangenziale e assiale. Il grafico mostra l'incremento della resistenza a trazione tangenziale comparata con un tubo di PVC-U standard. I risultati mostrano la resistenza della struttura Aquadur bi-orientata. Si noti che il PVC-U snerva e si rompe allo stesso carico, mentre con Apollo/Aquadur la sollecitazione richiesta per raggiungere la rottura è più grande di quella del carico di snervamento iniziale. La resistenza anulare di Apollo/Aquadur è praticamente più alta del 60% rispetto a quella del PVC-U standard. L'aumentata resistenza del PVC-O Bi-Assiale offre i seguenti vantaggi:

- il tubo può operare a pressioni di esercizio più elevate. Si può usare uno spessore di parete ridotto per una pressione di esercizio standard.
- Aquadur offre agli ingegneri dell'acqua un tubo a pressione per condotte con PN 16 bar con pareti più sottili. e con un elevato fattore di sicurezza di 1,6.

I fattori 1,0 - 1,5 - 1,75 si riferiscono al fattore di stiramento del tubo in direzione tangenziale. Questo significa che con il fattore 1,0 il tubo al termine della lavorazione mantiene lo stesso diametro (caso del PVC-U), con il fattore 1,5 il tubo finale ha un diametro più largo del 50% rispetto al tubo preformato. Con un fattore di stiramento 1,75 il diametro finale risulterà più largo del 75%. **Si noti che per ogni fattore di stiramento corrisponde un diverso SDR.**

Diagrammi carico/ tempo (curve di regressione) e carico/deformazione:

- ✓ *Linea viola per tubi di PVC-U: **rapporto di stiramento pari a 1.***
- ✓ *Linea verde e linea blu per tubi di PVC-O: **rapporto di stiramento 1,5** e **1,75 rispettivamente**.*

Resistenza a pressione idrostatica a lungo termine a 20°C

Bicchieratura e anelli di tenuta

Anelli di tenuta

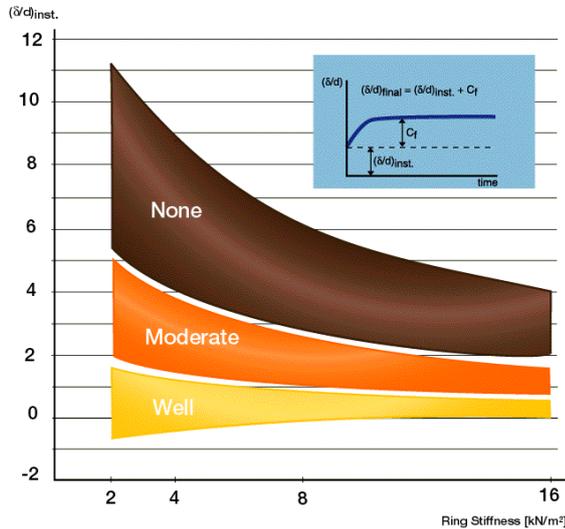
La guarnizione ad anello Aquadur, mostrata in figura, è stata progettata apposta per l'uso con PVC-O a molecole orientate. Si tratta di una guarnizione combinata, labbro e compressione, che è stabilmente bloccata all'interno del bicchiere del tubo. Quando i due tubi sono spinti l'uno dentro l'elemento di guarnizione di gomma, progettato per deformarsi, crea una pressione di tenuta che agisce sia sul bicchiere che sulla punta del tubo.

Guarnizione ad anello per Apollo/Aquadur

Elementi di Guarnizione
La sezione flessibile EPDM agisce su punta e bicchiere per assicurare la massima sicurezza di giunzione

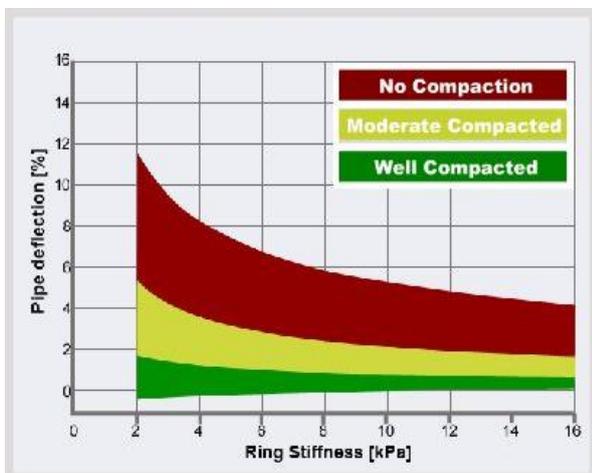
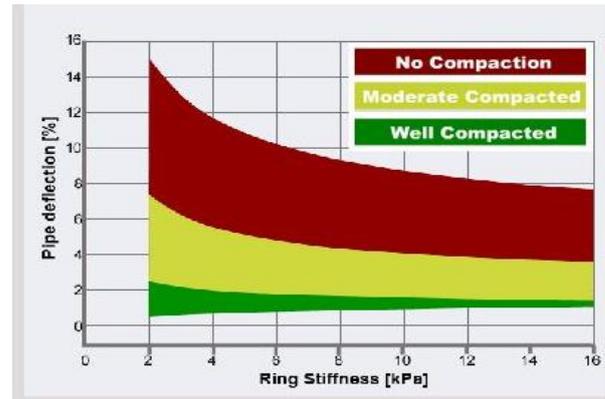
Elementi di Rinforzo
Il rinforzo di PP legato alla sezione di EPDM mantiene stabilmente la guarnizione nella sua sede

Deflessione del diametro del tubo in funzione di rigidità anulare e installazione

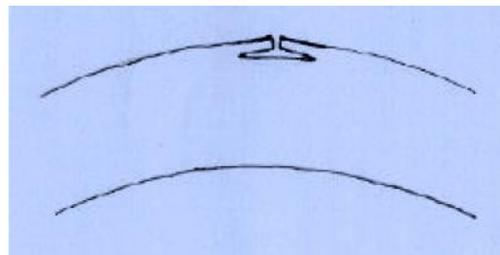
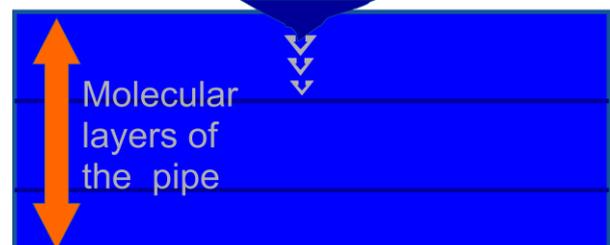
Le deflessioni medie subito dopo la posa sono rappresentate dai limiti minori per ciascuna area, i valori massimi dai limiti superiori dell'area.

La rigidità anulare: $S = \frac{E \; x \; t^3}{12 \; x \; D^3}$ del PVC-O è più alta rispetto a quella del PVC-U.

Prodotto	SDR (D_e/e)	S kN/m2
PVC-U	41	4,0
PVC-O	41	6,6

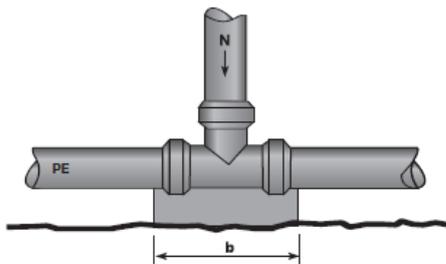
Infatti il modulo E del materiale stirato è leggermente più elevato rispetto a quello del PVC-U.

Deflessione del tubo dopo la posa (breve termine)

Deflessione del tubo dopo la posa (lungo termine)

Criccatura

Nel caso del PVC-O la distribuzione delle molecole, all'interno dello spessore del tubo, durante i due stiramenti verticali fra loro avviene per strati concentrici, per cui una qualsiasi sollecitazione nel passare da uno strato al successivo smorza la sua energia. In entrambi i casi viene assicurata una resistenza all'urto tale da coprire quasi tutti i danneggiamenti che possono avvenire in cantiere o durante l'esercizio. In questo consiste la grande differenza dei nuovi tubi nei confronti con i tubi di PVC-U.

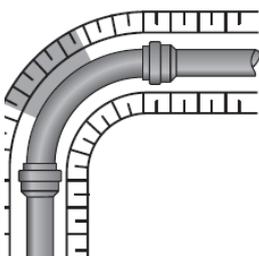
Resistenza alla crescita della cricca

Ancoraggi

Contenimento delle spinte – blocchi di ancoraggio

Tutte le condotte in pressione con sistema di giunzione a bicchiere (non incollate o saldate) sono soggette a sollecitazioni che tendono a separarle.
Nell'accoppiamento si dovrà prevedere una certa tolleranza al fine di tener conto delle forze generate, che altrimenti potrebbero causare deviazioni o sfilamento dei giunti.
Le spinte che si generano in una condotta in pressione sono sia di natura statica che dinamica. Esse devono essere ben calcolate al fine di conoscere la spinta totale che agisce sul giunto o in ogni cambio di direzione.
Le **spinte statiche** sono quelle legate alla pressione interna di esercizio e quindi si ricavano una volta conosciuta la massima pressione interna. Esse possono essere valutate con le seguenti relazioni:

• Terminali e giunzioni: $N = 10^2 \cdot Ae \cdot P$ [kN]
• Curve: $N = 10^2 \cdot Ae \cdot P \cdot 2sen\ \alpha/2$ [kN]

Angolo α	11	22	30	45	60	90
2senα/2	0,19	0,38	0,52	O,77	1,00	1,41

Le **forze dinamiche** sono generate dallo scorrimento del fluido nella condotta nella stessa direzione delle forze statiche. Queste in genere sono di modesta entità se la velocità del fluido è bassa, ma diventano molto alte se la velocità supera 1,5 m/sec. Esse possono essere calcolate con la seguente espressione:

• Curve: $N = 2 \times 10^{-3} \cdot W \cdot A_i \cdot V^2 \cdot sen\ \alpha/2$ [kN]

Ai fini progettuali, e relativamente alle curve, le forze statiche e forze dinamiche possono essere combinate nella più semplice relazione:

$F = (P+0{,}01V^2)\ 10^2 \bullet A_e \bullet 2sen\ \alpha/2$ [KN]

Dove:

Ai = area sezione trasversale interna del tubo [m^2]
Ae = area sezione trasversale esterna del tubo [m^2]
P = pressione interna [Bar]
W = densità del fluido trasportato
(Acqua = 1000kg/m^3)
V = velocità del fluido in condotta [m/sec]
α = angolo di deviazione della curva [°]

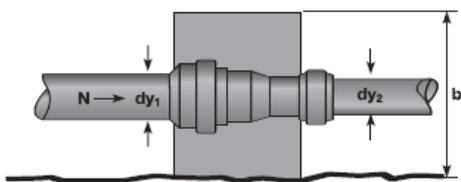
Nella tab. II sono riportate le forze statiche relative a una pressione interna di 1 bar. Per avere la spinta generata dalle forze combinate basta moltiplicare i valori di tabella per il fattore:

$$(P + 0{,}01\ V^2)$$

Tab II - **Forze di spinta per ogni bar di pressione**

Diametro Nominale esterno (mm)	Spinta sul tappo KN	Spinta radiale sulle curve			
		90° KN	45° KN	22,5° KN	11,25° KN
110	0,95	1,36	0,73	0,37	0,19
160	2,01	2,87	1,55	0,79	0,40
200	3,14	4,49	2,43	1,24	0,62
250	4,91	7,01	3,80	1,93	0,97
315	7,79	11,1	6,03	3,07	1,54
400	12,6	17,9	9,72	4,95	2,49

I calcoli per ciascuna posizione devono essere tali che la spinta sia trasmessa ad un'area di terreno sufficientemente ampia al fine di fornire la reazione necessaria per contrastare la spinta senza spostamenti della condotta. Le tensioni ammissibili tipiche per i terreni più comuni sono riportate nella tabella III.
Bisogna quindi porre la dovuta attenzione alla pressione tollerabile dal terreno, che per ciascun caso deve essere determinata da indagini geotecniche.

Ancoraggio di un riduttore

$N = 10^2 (A_{e1} - A_{e2}) \times P$ [kN]

NB: quando si costruiscono blocchi di contrasto in calcestruzzo si deve evitare il contatto diretto di **Apollo/Aquadur** con il CLS. Per proteggere il tubo bisogna utilizzare delle membrane (per es. di polietilene da 3 mm) al fine di consentire che i piccoli movimenti (come quelli generati dallo scorrimento delle molecole "creep" allorché il tubo è sotto carico) avvengano senza causare concentrazioni di sforzi puntuali. Per progettare il blocco di cemento bisogna tener conto del tipo di terreno circostante, della sua capacità di sopportare le spinte, della profondità di posa del tubo. Va anche tenuto presente che il blocco di cemento non deve essere avvolto tutto intorno al tubo, ma la sua forma deve essere tale da agire solo su metà circa della superficie esterna dello stesso. La forma ideale del blocco è quella di una figura geometrica di altezza costante e base trapezoidale.

Tipo terreno	σ_{amm} terreno Kg/cm²
Limi o argille con acqua	0,1
Argille coerenti	1,5 ÷ 1
Argille e sabbie compatte e dure	1,5 ÷ 2,5
Terreni ghiaiosi e ciottolosi incoerenti	3 ÷ 4
Terreni stratificati, rocce tenere	5 ÷ 10
Rocce dure e graniti	> 15

Tab III - **Sollecitazioni ammissibili sul terreno**

Prove di pressione in cantiere

Le procedure di prova usate tradizionalmente per condotte in genere sono intese per materiali con elasticità lineari (per es. ghisa duttile), e non sono adatti per materiali visco-elastici senza modifiche come il PVC-O. Tali tubi infatti sono soggetti a creep e a diminuzione della sollecitazione. In un tubo sottoposto a test in pressione si verificherà una diminuzione di pressione (decadimento) causata dalla risposta visco-elastica (creep = scorrimento delle molecole) del materiale. Questo avverrà anche in un sistema libero di perdere. Il decadimento della pressione è non lineare in un tubo imprigionato (bloccato). Per tener conto di questa caratteristica è stato sviluppato un test a pressione che tiene conto degli effetti dello scorrimento molecolare e della diminuzione della sollecitazione.
Per un collaudo positivo bisogna essere in presenza di condotte il cui profilo longitudinale sia stato progettato in leggera pendenza verso l'alto allo scopo di poter ventilare la condotta. Dispositivi di sfiato devono essere installati prima della prova in direzione del flusso in corrispondenza di tutte le sommità (un po' sotto la sommità). Curve, TI, riduttori, valvole e flange cieche devono essere ancorati per resistere alla pressione di prova.

Introduzione

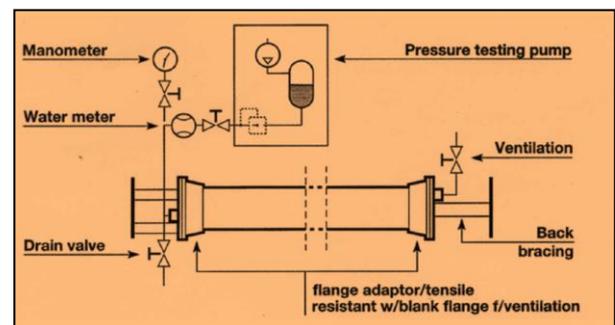
Dopo che il sistema di tubazioni e raccordi è stato completamente installato si procederà con una ispezione visiva e con la prova idraulica. Dovunque è possibile i giunti dovranno restare scoperti fino al positivo completamento del collaudo idraulico.
La chiave per sentirsi sicuri sulle prestazioni a lungo termine di ogni sistema di condotte è quello di eseguire dei test severi sotto pressione, portando la condotta a 1,5 volte la pressione di progetto del sistema. Questo assicura che tutti i giunti, bicchieri, punte, meccanici e flangiati siano stati assemblati in modo corretto e che i blocchi di ancoraggio siano stati progettati e costruiti come richiesto dall'opera.
Per maggior sicurezza per ogni materiale, compreso Apollo/Aquadur, il miglior modo è quello di memorizzare le prove in pressione con un registratore che monitorizzi la pressione nel sistema e il flusso dell'acqua attraverso la pompa. Esso fornirà una precisa traccia del test che può essere analizzato e tenuto come prova QA relativa al'esecuzione con successo del test.

Ispezione visiva

Il sistema va controllato visivamente per verificare che le istruzioni di posa siano state correttamente rispettate, e che tubi e raccordi siano adeguatamente appoggiati e vincolati come previsto dalle norme.

Collaudo idraulico

Generalità - Le tratte di condotta da sottoporre a prova idraulica saranno di ragionevole lunghezza, in funzione del diametro, delle condizioni del cantiere, della disponibilità di acqua e del suo successivo allontanamento al termine della prova, del numero di giunti e raccordi presenti (1000m di tubo di PVC-O DN 315mm PN16 possono contenere ca. 70000 litri di acqua). Le condotte più lunghe di 1000m richiedono sezionamenti opportuni. La prima prova sarà eseguita su una tratta di 300m per accertare che la tecnica di posa sia stata effettuata secondo norma e che non ci saranno imprevisti durante il collaudo. Anche nel caso di condotte che richiedano pressioni elevate di prova il sistema va sezionato in tratte per evitare che il permanere di alte pressioni possa influenzare il risultato. Se la condotta è provata prima del rinterro, bisogna disporre nella parte centrale di ogni tubo un “cavallotto” di terra affinché esso non possa né muoversi né sfilarsi.

Forze di spinta e apparecchiature - Prima della prova è necessario ancorare ogni cambio di direzione, diramazione o riduzione con blocchi di ancoraggio progettati in funzione della pressione di prova. Naturalmente le prove non possono aver luogo fin tanto che gli ancoraggi cementizi non abbiano raggiunto la resistenza necessaria (in genere si richiedono 7 giorni dopo la gittata). L’isolamento del tronco sarà eseguito con flange cieche (calotte finali). Le flange cieche devono essere temporaneamente puntellate per resistere al carico che si sviluppa durante la prova. Per esempio per un tubo di PVC-O DN 315mm PN16, con prova di collaudo a 24 bar, si sviluppa su un terminale cieco - vedi tab.III - una forza di (7,8 x 24) kN. La compensazione delle forze di spinta si può ottenere con delle tavole di legno incastrate trasversalmente nella trincea. Bisogna evitare di appoggiarsi sull’estremità della condotta già posata. Nel caso vengano utilizzate valvole come dispositivo di isolamento non bisogna superare i limiti di pressione consentiti da queste. Per tutti tali dispositivi si dovrà tener conto delle perdite di carico ad essi relative. Tutte le giunzioni durante la prova dovranno restare scoperte. La temperatura dovrebbe essere mantenuta per quanto possibile costante e il tubo temporaneamente protetto da brusche variazioni di temperatura. Le apparecchiature terminali saranno dotate di rubinetti per il riempimento della condotta, per l’evacuazione dell’aria e lo svuotamento finale. Esse inoltre dovranno consentire il collegamento a manometri. L’apparecchiatura per portare la condotta alla pressione voluta dovrà essere adeguatamente dimensionata (per es. dovrà essere in grado di mettere in pressione i tubi in meno di 2 ore, essere robusta e possedere collegamenti atti a mantenere la pressione richiesta dalla prova). Stessa cosa vale per gli strumenti di misura; essi inoltre dovranno essere sufficientemente grandi per poter leggere i dati con un margine di errore di ± 0,2 bar. Si raccomanda un registratore di dati che fornisca una documentazione scritta del collaudo.

Riempimento della condotta e messa in pressione

Dopo aver opportunamente ancorato i due tappi di collaudo posti alle estremità del tratto di condotta da collaudare, si procederà al riempimento d’acqua con giunti scoperti e i tubi trattenuti dai cavallotti di terra (reinterro parziale).

Durante il riempimento le valvole di sfiato resteranno aperte. La condotta sarà riempita progressivamente di acqua, iniettandola dal punto più basso (dal punto dove il carico statico sarà più elevato). Ciò favorirà l’uscita dell’aria durante il riempimento. Per questo le valvole di sfiato saranno posizionate adeguatamente nelle parti più alte. Il manometro sarà invece posto in prossimità della pompa, cioè nella parte bassa della condotta.

Durante questa fase vanno evitate oscillazioni di pressione. Le valvole di sfiato saranno chiuse solo allorché tutta l’aria sarà fuoriuscita. Il riempimento va fatto molto lentamente, poi si lascerà la condotta alla pressione nominale o di esercizio per un intervallo di tempo (questo dipenderà dalle dimensioni della condotta, dalle condizioni atmosferiche, dal movimento dei tubi prodotto dal carico addizionale allorché sono

riempiti ["scorrimento o creep"], dall'assestamento dei giunti, dal variare della dimensione minore del tubo, dai moti collegati alla variazione di temperatura). Sarebbe necessario un tempo di circa 2-3 ore, però è preferibile attendere un giorno intero prima di procedere con la prova di collaudo. Si raccomanda una pressione di prova sarà pari a 1,5 volte la pressione nominale di esercizio del sistema, fino ad un massimo di e comunque non oltre 1,5 volte la pressione nominale stimata nell'elemento considerato più basso dell'intero sistema. Comunque nel punto più alto la pressione non dovrà mai essere inferiore a quella di esercizio. Molto importante è il tempo necessario per far salire la pressione in condotta al livello desiderato (cioè la velocità con cui si conduce il test).

La pressione deve salire in maniera graduale e costante. Un incremento graduale terrà conto dello scorrimento del tubo in PVC-O. Il volume immesso può essere controllato tramite un contatore o misurato direttamente o stimato dal numero di giri di un pistone. Dopo il riempimento e la chiusura delle valvole si procede con l'aumento della pressione, sempre in maniera graduale e con una pompa manuale, fino a giungere a quella richiesta nel punto più basso della condotta (letto sul manometro). Tale pressione si mantiene costante per circa un'ora, se necessario effettuando dei pompaggi addizionali. Il tutto sarà monitorato e registrato.

1° metodo di analisi per la Prova di Collaudo

Effettuata la messa in pressione, la condotta verrà isolata dalla pompa di prova e la pressione sarà lasciata libera di decrescere per il periodo di un'ora per la prova preliminare, poi per un periodo di 24 ore per la prova definitiva.

Dopo un'ora si misurerà il quantitativo di acqua necessaria per ripristinare la pressione di prova. Dopo aver isolato il sistema il test sarà buono se:

- non c'è alcuna perdita (e questo sarà possibile se la pressione è stata aumentata gradualmente e la condotta è stata posata in modo corretto)
- dopo un'ora la quantità Q necessaria per ripristinare la pressione non dovrà superare i 3 litri per ogni 25 mm di diametro interno nominale per chilometro di lunghezza della tratta in prova, e per ogni 3 bar di pressione.

Prova di un'ora:

$$Q(l) = 3(l) \times \frac{Di\ (mm)}{25\ (mm)} \times \frac{L\ (m)}{1000\ (m)} \times \frac{1{,}5\ PN\ (bar)}{3\ (bar)} \times \frac{1\ (ora)}{24\ (ore)}$$

Se dopo un'ora l'esito è positivo si passerà alla prova di 24 ore. Trascorso tale tempo il quantitativo di acqua necessario per ristabilire la pressione di prova non dovrà superare quello ottenuto dalla precedente formula riferita a 24 ore.

Tutte queste aggiunte vanno a compensare l'espansione per scorrimento (creep), nonché le minime quantità di aria rimaste intrappolate nel sistema. Quindi non vanno registrate come perdite.

2° metodo di analisi per la Prova di Collaudo

Il procedimento di seguito proposto (v. norma UNI EN 805 "Approvvigionamento di acqua – Requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici"). Nel caso delle condotte di PVC-O la metodologia di prova deve tener conto, come già è stato detto, del comportamento visco-elastico del prodotto. Tale procedimento comprende tre fasi: una fase preliminare alla quale segue la prova di perdita di carico integrata e si conclude con la prova principale.

Durante la fase preliminare, come previsto in tutti i sistemi, la condotta viene sciacquata, sfiatata per eliminare eventuali bolle d'aria e riempita di acqua a pressione atmosferica. Segue un periodo di riposo di 60 minuti. Poi si aumentata rapidamente la pressione (in meno di 10 minuti) fino alla pressione di prova (pari a 1,5 volte la pressione nominale) e la si mantiene per 30 minuti mediante pompaggio continuo. Durante questo periodo si controlla la condotta alla ricerca di eventuali perdite evidenti:

- si interrompe il pompaggio per 1 ora (durante tale periodo si noterà un calo di pressione causato dalla deformazione della condotta dovuta allo scorrimento delle molecole "creep").
- si misura la pressione residua. Se la perdita di pressione è inferiore al 30% la prova fase preliminare si considera superata positiva.

Seguirà la prova di perdita di carico integrata durante la quale:

- si diminuirà rapidamente la pressione rimasta al termine della prova preliminare di un ulteriore 10-15% della pressione di collaudo iniziale, mediante scarico di acqua.

– si misurerà in modo preciso il volume di acqua rimosso ΔV rimosso e il calo di pressione ΔP in modo preciso.
– si calcolerà la perdita di acqua ammissibile ΔV_{max} mediante la formula seguente:

$$\Delta V_{\max} = 1{,}2 \cdot V \cdot \Delta P \cdot \left(\frac{1}{E_W} + \frac{D}{e \cdot E_R} \right)$$

Dove :

- ΔV_{max} è la perdita di acqua ammissibile in litri,
- V è il volume in litri del tratto di condotta sottoposto a prova
- ΔP è la perdita di pressione misurate in KiloPascal ,
- D è il diametro interno della condotta misurato in metri,
- E_w è il modulo elastico dell'acqua misurato in Kilo Pascal (pari a 2.000.000 KPa),
- "*e*" è lo spessore dei tubi in metri [m],
- E_R è il modulo elastico della parete del tubo in direzione circonferenziale in KiloPascal (per PVC-O = 4.200.000KPa).

L'esito della prova sarà positivo se $\Delta V \leq \Delta V_{max}$. In caso contrario, dopo ispezione della condotta, la prova va ripetuta. Per facilitare le operazioni di verifica forniamo di seguito una tabella che riporta per ogni diametro nominale (D_e), spessore (e), diametro interno D_i, il volume V di riempimento per metro di condotta e il volume ΔV_{max} ammissibile che si può rimuovere per metro di condotta e per ogni bar di perdita di pressione in [l/ bar . m]

Nella Tabella si sono posti:

E_W (modulo elastico dell'acqua) = 2.000.000KPa = 20.000bar;

E_R (modulo elastico del PVC-A) = 4.200.000KPa = 42.000bar

V (Volume di fluido per metro di condotta)=
= $\pi \cdot (D_i)^2/4$ [dm^2]·10[dm]= $3{,}14 \cdot (D_i)^2/4 \cdot 10$ [dm^3]

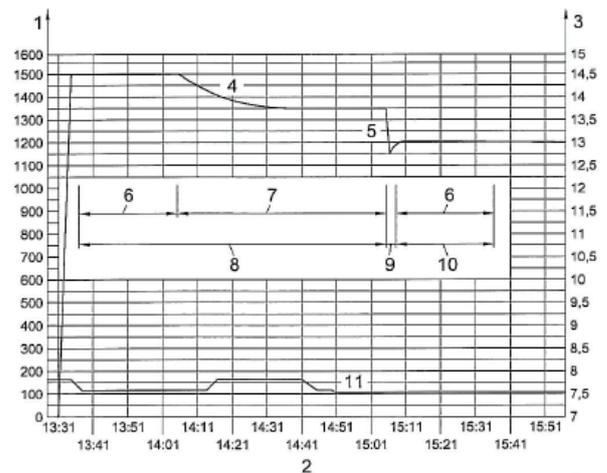
$$C = \frac{1}{E_W} + \frac{D_i}{e} \cdot \frac{1}{E_R} \ [\text{bar}^{-1}]$$

V_{max} = massima perdita di acqua in litri per metro di condotta e per bar di pressione = 1,2 · V · C

PN 16					
D_e mm	e dm	D_i dm	V l/m	C bar^{-1}	V max l/m.bar
110	0.0325	1,035	8,409116	0,000808	0,00815
140	0,0370	1,326	13,80247	0,000903	0,01567
160	0,0420	1,516	18,04131	0,000909	0,01968
200	0,0525	1,895	28,18955	0,000909	0,03075
250	0,0655	2,369	44,05546	0,000911	0,04815
315	0,0820	2,986	69,99214	0,000917	0,07699

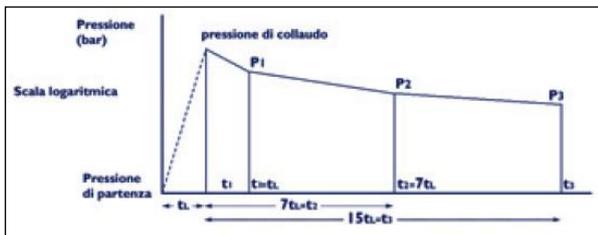
Esempio: durante il collaudo di un tratto 500m di condotta di PVC-O di diametro 315mm PN16 se viene registrato un calo di pressione di 2bar il volume che scarichiamo ΔV dovrà soddisfare la seguente disequazione:

ΔV ≤ ΔVmax = (0,07699 x 2 x 500) = 76,99 litri

Terminata questa prova si passa alla prova principale. Lo scarico di acqua indotto durante la prova di perdita carico integrata produrrà una contrazione della condotta, con conseguente incremento della pressione che dovrà essere registrato con apparecchio opportuno per circa 30 minuti. Il grafico risultante (vedi figura) dovrà evidenziare un brusco incremento di pressione durante la fase principale della prova. Se ciò non si verificasse va ricercata un'eventuale perdita all'interno della condotta o sulle giunzioni. Durante tutte queste prove, poiché la temperatura può influenzare l'esito delle prove, essa dovrà mantenersi pressoché costante intorno ai valori di 12-15° C (vedi grafico).

Norma EN 805 Punti A.27.3

Legenda:

1. Pressione (kPa)
2. Tempo
3. Temperatura (°C)
4. Pressione
5. Ap = 200KPa
6. 30 min
7. 60 min
8. Fase preliminare
9. Prova di perdita di pressione
10. Fase principale della prova
11. Temperatura

3° metodo di analisi per la Prova di Collaudo

Poiché il decadimento della pressione avviene su scala logaritmica, la velocità di caduta della pressione non è lineare e decrescerà nel tempo. Si raccomanda quindi l'uso di un registratore di dati. Chiamato allora con t_L il tempo per raggiungere la pressione di collaudo, dopo un tempo $t_1=t_L$ leggeremo una pressione P_1 inferiore. Una seconda lettura dovrebbe essere effettuata dopo un tempo $t_2 = 7\ t_L$. In realtà, per tener conto del rilassamento della condotta sotto pressione, bisogna applicare un fattore correttivo dei tempi, quindi i tempi reali di lettura saranno rispettivamente:

1° Lettura P_1: dopo un tempo $T_{1c} = t_1 + 0{,}4\ t_L$

2° Lettura P_2: dopo un tempo $T_{2c} = t_2 + 0{,}4\ t_L$

L'inclinazione della curva di decadimento della pressione sarà calcolato dal rapporto:

$$N_1 = \frac{\log P_1 - \log P_2}{\log T_{2c} - \log T_{1c}}$$

In una condotta sana il valore di N_1 dovrebbe essere compreso tra 0,03 e 0,085 se i tubi sono senza ricoprimento di supporto, e 0,03-0,05 per tubi con riempimento ben costipato. Se i valori sono molto più bassi di quelli indicati significa che in condotta è ancora rimasta troppa aria intrappolata, per cui prima di proseguire bisogna espellere quest'ultima.

Si procederà poi a una nuova lettura della pressione dopo un tempo $t_3 = 15 t_L$.

3° Lettura P_3: dopo un tempo $T_{3c} = t_3 + 0{,}4\ t_L$

L'inclinazione della curva di decadimento della pressione sarà dato dalla:

$$N_2 = \frac{\log P_2 - \log P_3}{\log T_{3c} - \log T_{2c}}$$

I valori di N_2 ed N_1 dovrebbero essere simili. Se il valore di $N_2 > N_1$ (oltre il 5%) significa che siamo in presenza di perdite. Valori di N_1 o N_2 minori di 0,03 indicano che siamo in presenza di troppa aria in condotta. In tal caso si allenta la pressione, si spurga l'aria dalla condotta in esame e si riprende la prova. Fra una prova e l'altra bisogna lasciare un periodo di "riposo" che deve essere pari a quattro volte il "tempo sotto pressione" durante il precedente tentativo di prova. Il "tempo sotto pressione" include il tempo di pressurizzazione.

Messa in Servizio

Dopo che la prova in pressione di tutta la condotta avrà dato esito positivo si procederà al rinterro finale. Quindi alla pulizia e alla sterilizzazione della condotta. Per la messa in esercizio bisognerà attenersi alle seguenti procedure:

- Pulitura con getto d'acqua o con spazzole
- Riempimento e sterilizzazione
- Svuotamento con neutralizzazione
- Nuovo riempimento
- Campionatura batteriologica
- Certificazione di accettazione
- Entrata in servizio

Tabelle di Conversione

Pressione

N/m^2	bar	Kg/cm^2	Pa	kPa	MPa	atm	mmHg	m H_2O
1	10^{-5}	1,02x10^{-5}	1	10^{-3}	10^{-6}	0,98x10^{-5}	0,0075	1,02x10^{-4}
10^5	1	1,02	10^5	102	0,1	0,987	750	10,2
98067	0,981	1	98067	98,067	0,0981	0,968	735,6	10
1	10^{-5}	1,02x10^{-5}	1	10^{-3}	10^{-6}	0,98x10^{-5}	0,0075	1,02x10^{-4}
10^3	10^{-2}	1,02x10^{-2}	10^3	1	10^{-3}	0,98x10^{-2}	7,5	0,102
10^6	10	10,2	105	10^3	1	9,8	7500	102
1,01x10^5	1,013	1,033	1,01x10^5	1,01x10^2	0,101	1	760	10,33
133,3	1,33x10^{-3}	1,36x10^{-3}	133,3	0,133	1,33x10^{-4}	1,31x10^{-2}	1	1,36x10^{-2}
9806.7	0,0981	0,1	9806.7	9,81	9,81x10^{-3}	9,68x10^{-2}	73,56	1

Portata

l/sec	l/min	l/h	mc/sec	mc/h	mc/giorno
1	60	3600	10^{-3}	3,6	86,4
1,66x10^{-2}	1	60	1,66x10^{-5}	5,97x10^{-2}	1,44
2,77x10^{-4}	1,6x10^{-2}	1	2,77x10^{-7}	10^{-3}	0,024
10^3	6x10^{-4}	3,6x10^6	1	3600	86400
0,277	16,66	10^3	2,77x10^{-4}	1	24
1,16x10^{-3}	0,7	42	1,15x10^{-5}	0,042	1

Tempo

sec	min	ora	giorno	anno	10 anni	50 anni
1	0.0166	2,77x10^{-4}	1,15x10^{-5}	-	-	-
60	1	0,0166	6,9x10^{-4}	-	-	-
3600	60	1	0,04166	-	-	-
86400	1440	24	1	2,7x10^{-3}	2,74x10^{-4}	
3,15x10^7	5,26x10^5	8760	365	1	0,1	0,02
-	2,63x10^6	87600	3650	10	1	0,2
-		438000	18250	50	5	1

Potenza

W	kw	Kg$_F$xm/sec	Kcal/h	Cal/sec	CV	HP	J/sec
1	10^{-3}	0,102	0.86	0,2389	1,36x10^{-3}	1,34x10^{-3}	1
10^3	1	101,97	859,84	238,9	1,36	1,34	10^3
9,8	0,0098	1	8,43	2,341	0,0133	0,0135	9,8
1,12	0,0012	0,12	1	0,278	0,00156	0,00156	1,16
735	0,735	75	632,415	175,67	1	0,986	735
746	0,746	76,04	641,19	178,11	1,014	1	745,7
4,187	4,187x10^{-3}	0,427	3,6	1	5,69x10^{-3}	5,61x10^{-3}	4,187

Energia/Lavoro

Joule	Nxm	Kg$_F$xm	kcal	CVxh	kwh	HPxh
1	1	0,102	0,000239	3,78x10^{-7}	2,78x10^{-7}	3,72x10^{-7}
9,807	9,807	1	0,0023	3,64x10^{-6}	2,67x10^{-6}	3,58x10^{-6}
4,1868x10^3	4,1868x103	426,93	1	0,0016	0,0012	1,6x10^{-3}
2,64x10^4	2,64x10^6	27x10^4	632,41	1	0,736	0,986
3,6x10^6	3,6x10^6	36,72x10^4	859,8	1,36	1	1,34